УДК 621.313.333:658.562

ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

О.О. Муравлева, Т.В. Усачёва

Томский политехнический университет
E-mail: MuravlevaOO@tpu.ru

Разработана математическая модель оценки экономической эффективности производства асинхронных двигателей на стадии их проектировании и изготовления. Анализ целевой функции для оптимизации уровня качества асинхронных двигателей показал, что доля стоимости использованных материалов в целевой функции не превышает 0,28, следовательно, в целях увеличения энергетических характеристик асинхронные двигатели можно проектировать и изготавливать даже с большими затратами материалов.

Введение

Формирование и реализация стратегии ресурсосбережения на всех уровнях управления – один из важнейших вопросов стратегического менеджмента, т.к., во-первых, ресурсоемкость является второй стороной товара (первая – качество), во-вторых, Россия по эффективности использования ресурсов значительно отстает от промышленно развитых стран Запада. Например, эффективность использования электроэнергии в России примерно в два раза ниже, чем в США; коэффициент использования металлов в машиностроительной промышленности США составляет порядка 0,92, а в РФ – 0,70 [1].

Стратегия ресурсосбережения – это комплекс принципов, факторов, методов, мероприятий, обеспечивающих неуклонное снижение расхода совокупных ресурсов на единицу валового национального продукта в рамках страны. Выделим пути ресурсосбережения для электромашиностроения:

- увеличение доли ресурсосберегающих технологий;
- развитие методов анализа, прогнозирования, оптимизации и стимулирования улучшения использования ресурсов;
- применение научных подходов менеджмента при разработке проблем ресурсосбережения.

Методы ресурсосбережения – это конкретные технологические способы, организационные и другие методы экономии расхода ресурсов на единицу полезного продукта. Они реализуются через организационно-технические мероприятия, например, по замене физически или морально устаревших технологий, оборудования, организационных проектов, экономических и других методов менеджмента. Для уровня страны стратегия ресурсосбережения должна разрабатываться на длительную перспективу. В США действует долгосрочная программа ресурсосбережения на ближайшие 40 лет.

При нерациональной структуре экономики и конкурентном уровне цены увеличивается актуальность энергосбережения. Уже сегодня нужно серьезно озаботится тем, что предпочтительнее перерабатывать и потреблять дорогие ресурсы внутри страны, поставляя на внешний рынок конечную продукцию с более высокой долей добавленной стоимости. Эту функцию выполняют все высокотехнологичные отрасли, в том числе электромашиностроение. Улучшение показателей эффективности электромашиностроения и ресурсоемкости товаров возможно в результате разработки и реализации организационно-технических мероприятий, комплексно задействующих факторы ресурсосбережения. Нами предлагается классификация факторов ресурсосбережения электромашиностроения, представленная на рис. 1.

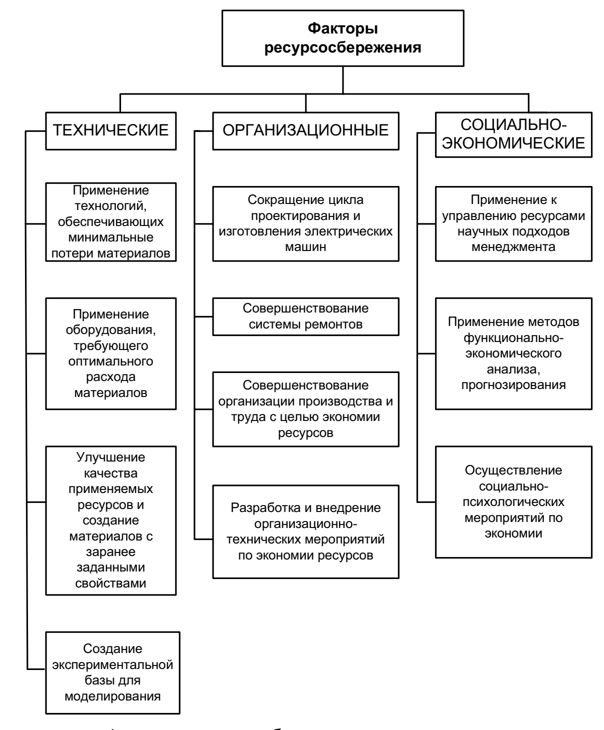


Рис. 1. *Факторы ресурсосбережения электромашиностроения*

Проблемы обеспечения качества и конкурентоспособности электромашиностроительной продукции невозможно решить без комплексного подхода к ресурсосбережению, который включает в себя ее проектирование, изготовление, эксплуатацию и ремонт изделия. Одним из главных аспектов ресурсосбережения является применение методов функционально-экономического анализа.

Целью данной работы является оценка экономической эффективности изготовления асинхронных двигателей с использованием метода функ-

ционально-экономического анализа материалоемкости изготовления изделий.

Математическое моделирование оценки экономической эффективности

Функционально-экономический анализ материалоемкости изготовления изделий – это метод технико-экономического системного исследования функций изделия и технологии его изготовления, направленный на оптимизацию соотношений между общественно-необходимыми потребительскими свойствами изделия и материальными затратами на достижение этих свойств. Он применяется в целях предупреждения, сокращения или устранения излишнего расхода материальных ресурсов при изготовлении асинхронных двигателей (АД).

В реальных условиях рыночной экономики существенно изменилось производство АД средней мощности – от крупносерийного производства до небольших партий. При крупносерийном производстве однотипные асинхронные двигатели выпускались сотнями тысяч штук в год, использовались для этого поточные линии изготовления валов, станин, полуавтоматические агрегаты для производства щитов. Сейчас асинхронные двигатели выпускаются мелкими сериями в пределах 5–100 шт. по индивидуальным заказам. При большой стоимости активных материалов (их доля в себестоимости АД очень велика) практически нет изготовления АД на склад. При мелкосерийном производстве используется универсальное высокоточное оборудование и новые эффективные методы контроля, причем точность производства может регулироваться установлением соответствующих допусков. Значит, снижения материалоемкости можно достичь и повышением эффективности систем контроля. Это приведет к дополнительным материальным затратам. В этом случае значения конструктивно-технологических факторов при моделировании нужно брать только из годных. Наиболее эффективно применение обоих способов. Однако это будет возможно только в новых экономических условиях, а когда выпуск АД производится небольшими партиями на универсальном оборудовании, экономически целесообразен первый способ.

Первые попытки оценить количественное влияние точности изготовления АД на материалоемкость и определить новый нетрадиционный путь снижения их материалоемкости были сделаны на кафедре «Электрические машины и аппараты» Томского политехнического университета [2–4].

В настоящее время основные тенденции модернизации электротехнической продукции, заключаются в ресурсосбережении и энергосбережении, усовершенствовании методов оптимизационных расчетов машин на основе применения ПЭВМ, физического и математического моделирования, внедрении системы автоматизированного проектирования.

Для удовлетворения спроса потребителей продукция определенного назначения разрабатывается в различных вариантах. Эти варианты обладают различными показателями качества и различной эффективностью. В интересах конкуренции, прежде всего, необходимо найти более эффективный вариант, который может обеспечить выполнение заданных функций лучше других. Именно здесь возникает необходимость в оптимизации показателей качества.

Задача оптимизации ставится так: изделие (электрическая машина) должно в процессе эксплуатации дать некоторый положительный эффект. Этот эффект достигается за счет оптимизации затрат на проектирование, изготовление и эксплуатацию изделия. Необходимо обеспечить максимальную эффективность этого изделия. Критерием эффективности служит целевая функция, которая является функцией затрат и эффективности при эксплуатации.

В математической форме эта задача формулируется следующим образом: имеется целевая функция Y оптимизации уровня качества данной продукции в виде зависимости от суммарных затрат:

$$Y = f_1(S_t),$$

где $S_t = f_2(P_1, P_2, \ldots, P_m)$ – зависимость суммарных затрат от показателей качества P_i ($i=1,2,\ldots,m$); m – количество показателей.

Задача оптимизации заключается в том, чтобы путем вычислений определить такие показатели качества, при которых целевая функция достигает своего экстремального (минимального) значения.

При поисковых расчетах критерий оптимальности может определяться по приближенной формуле:

$$S_t = K(C_д + C_r) + C_a T_n,$$

где $K = 1 + T_n(\rho_{ам} + \rho_0)$ – коэффициент, учитывающий амортизационные отчисления и затраты на обслуживание при эксплуатации; $C_д$ – полная себестоимость двигателя; C_r – затраты на компенсацию реактивной электроэнергии; C_a – годовые затраты на активные потери электроэнергии; T_n – нормативный срок окупаемости; $\rho_{ам}$ – амортизационные отчисления; ρ_0 – относительные затраты на обслуживание при эксплуатации.

Основными составляющими целевой функции являются годовые затраты на активные потери электроэнергии и материалы:

$$C_a = Ц_a t \xi \frac{P_2}{\eta_\xi}(1 + \rho_э - \eta_\xi),$$

где ξ – коэффициент загрузки; P_2 – полезная мощность на валу двигателя; η_ξ – КПД двигателя при действительной загрузке; $Ц_a$ – стоимость 1 кВт·ч электроэнергии; t – число часов работы двигателя в год; $\rho_э$ – относительная величина потерь в распределительной сети потребителя.

$$C_д = K_{ВН}(C_М + C_t),$$

где $K_{ВН}$ – коэффициент, учитывающий внепроизводственные расходы; $C_М$ – затраты на материалы при производстве асинхронного двигателя; C_t – трудовые затраты.

Сначала определяют затраты на активные материалы: электротехническую сталь, медь для обмотки статора и алюминий или его сплав для короткозамкнутой обмотки ротора. Сюда также относятся затраты на изоляционные и конструкционные материалы и подшипники.

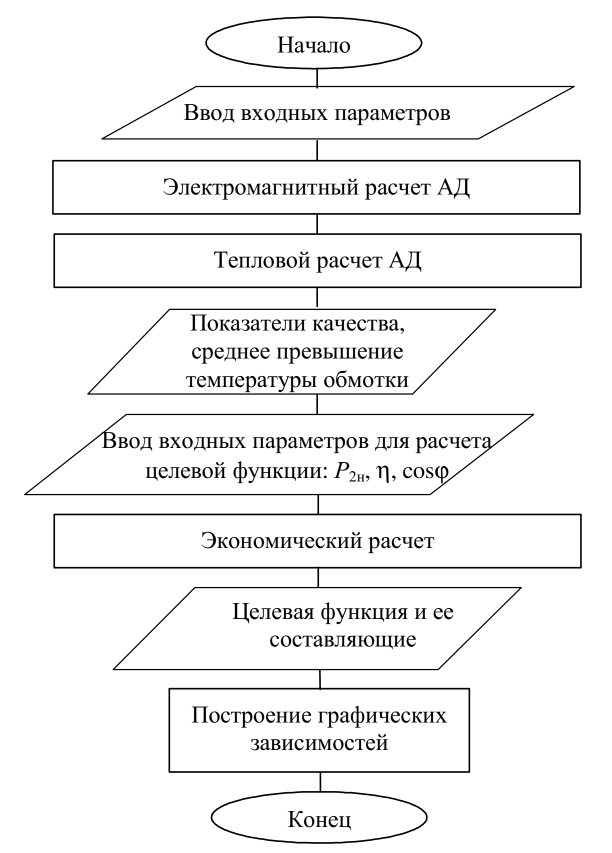


Рис. 2. *Структурная схема математического моделирования оценки экономической эффективности при проектировании и изготовлении АД*

Полная структурная схема всего процесса моделирования представлена на рис. 2. Ниже представлены результаты, полученные на основе математической модели оценки экономической эффективности при проектировании и изготовлении АД.

Анализ результатов

За последние годы из-за нестабильности российской экономики цены существенно менялись. Результаты обработки экономических данных представлены в табл. 1, которая позволяет проследить динамику цен на материалы, комплектующие составляющие АД и стоимость электроэнергии в USD [5]. Для наглядности были выбраны годы: 1985 г. – стабильные цены в СССР до перестройки, 1995 и 2000 гг. – изменение цен в процессе перестройки и 2005 г. – текущий. Наибольшее влияние на целевую функцию оказывают стоимости применяемых для изготовления материалов, комплектующих изделий и электроэнергии.

Таблица 1. *Цены на материалы для изготовления АД АИР112М4 и электроэнергию в USD*

Составляющие целевой функции	Ед. изм.	1985	1995	2000	2005
Эл. техн. сталь марки 2212	кг	0,526	0,331	0,353	0,971
Алюминий (сплав АК10)	кг	1,200	1,491	1,457	1,970
Медь (провод марки ПЭТ-155)	кг	2,438	3,532	2,807	4,316
Изоляция (стеклолакоткань ЛСК-0.15рк)	кг	2,077	0,497	1,705	2,698
Констр. мат-лы (чугун)	кг	1,630	0,497	0,380	0,349
Подшипники серии 180307	шт	7,693	1,615	0,639	2,518
Эл. энергия	кВт·ч	0,015	0,083	0,017	0,038

Оптимальные АД имеют минимальные затраты при изготовлении и эксплуатации и обеспечивают все заданные технические требования. Предполагается, что все расчетные параметры будут получены при производстве этих двигателей. Для реализации поставленной задачи была создана математическая модель изготовления АД. Преимуществом математических моделей является, прежде всего, то, что они исключают физический эксперимент.

В основу предложенной математической модели положены методики электромагнитного и теплового расчета методом тепловых схем замещений, которые позволяют для каждого набора входных параметров проводить расчет асинхронного двигателя и получать полный набор выходных параметров [3]. В качестве выходных параметров математической модели рассматриваются показатели качества: КПД, коэффициент мощности, кратность максимального и пускового вращающих моментов, кратность пускового тока, скольжение при номинальной нагрузке и среднее превышение температуры обмотки. Исходными данными модели являются факторы – контролируемые величины, определяющие единичные показатели качества электрических машин (полезная мощность, основные и локальные размеры, характеристики применяемых активных, изоляционных и конструктивных материалов и т.п.).

Результаты разработанной математической модели оценки экономической эффективности используются для экономических расчетов при определении оптимального варианта. Экономический расчет – расчет целевой функции (представленный ранее), разработан в среде программирования Mathcad PLUS. Расчет приведенных затрат на производство и эксплуатацию проводился по стандартным экономическим методикам ВНИИЭМ [3], поэтому можно считать, что разработанный комплекс программ адекватно отражает действительность. Вычислительный эксперимент проведен для наиболее выпускаемых двигателей АД АИР112М4 с номинальной мощностью $P_{2н}$=5,5 кВт. Расчет целевой функции и ее основных составляю-

щих был произведен по ценам разных годов при разной средней нагрузке (1,0, 0,75, 0,5, 0,25, 0,1)$P_{2н}$. Результаты расчетов представлены в табл. 2, 3 в USD соответственно.

Таблица 2. *Изменения по годам значений целевой функции*

$P_{2н}$, о.е.	1985	1995	2000	2005
1,00	277,067	971,057	207,927	454,010
0,75	237,167	681,281	149,809	322,545
0,50	225,921	455,360	105,896	221,415
0,25	239,885	309,568	79,250	157,807
0,10	314,577	303,449	84,043	160,900

Таблица 3. *Изменения по годам затрат на активные потери электроэнергии*

$P_{2н}$, о.е.	1985	1995	2000	2005
1,00	26,250	145,250	29,750	66,500
0,75	18,391	101,766	20,844	46,592
0,50	12,261	67,844	13,896	31,061
0,25	8,300	45,928	9,407	21,027
0,10	8,119	44,923	9,201	20,567

В табл. 4 представлена доля стоимости комплектующих материалов АД в целевой функции для номинальной мощности.

Таблица 4. *Изменения по годам доли стоимости комплектующих материалов в целевой функции*

Годы	1985	1995	2000	2005
$C_М$, %	27,46	3,43	14,11	12,76

Анализ таблиц результатов расчета показал, что при снижении нагрузки целевая функция и годовые затраты на активные потери электроэнергии имеют тенденцию к снижению. Наиболее критическим для производства электротехнической продукции был 1995 г. Именно в этот год наблюдался наибольший спад продаж из-за низкой конкурентоспособности производимых электрических машин. Обвал экономического положения страны сказался нестабильностью цен, снижением уровня качества выпускаемой продукции, заинтересованностью потребителей и низкой платежеспособностью. Сейчас экономика нашей страны в значительной степени стабилизировалась, но идет систематическое увеличение цен на электрическую энергию и некоторые материалы. Настоящая стабилизация цен на материалы, применяемые в электромашиностроении, и стоимость электрической энергии наступит, когда они достигнут мирового уровня, особенно это касается электрической энергии.

Заключение

1. Разработана математическая модель оценки экономической эффективности производства асинхронных двигателей на стадии их проектировании и изготовления. Полученные данные по анализу цен на комплектующие материалы и электрическую энергию используются нами при разработке системы автоматизированного проектирования асинхронных двигателей.
2. Анализ целевой функции для оптимизации уровня качества асинхронных двигателей показал, что доля стоимости использованных материалов в целевой функции не превышает 0,28, следовательно, в целях увеличения энергетических характеристик асинхронные двигатели можно проектировать и изготавливать даже с большими затратами материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фатхутдинов Р.А. Конкурентоспособность организации в условиях кризиса: экономика, маркетинг, менеджмент. – М.: Издательско-книготорговый центр «Маркетинг», 2002. – 892 с.
2. Muravlyov O.P., Muravlyova O.O. New Peculiar Approach to Resource Economies in Induction Motor Design // Proc. the 3rd Russian-Korean Intern. Symp. on Science and Technology KORUS'99. – Novosibirsk: State Technical University, 1999. – V. 2. – P. 775–778.
3. Влияние повышения точности изготовления на рассеивание показателей качества и конкурентоспособность асинхронных двигателей / Муравлев О.П., Муравлева О.О., Жарикова Т.В.; Томск. политехн. ун-т. – Томск, 2000. – 15 с.: ил. – Библиогр.: 4 назв. – Рус. – Деп. в ВИНИТИ 29.09.2000, № 2531–В00.
4. Муравлев О.П., Муравлева О.О., Жарикова Т.В. Проектирование асинхронных двигателей с учетом технологических погрешностей // В сб.: Вестник Уральского государственного технологического университета – УПИ «Электромеханика и управляемые электромеханические системы». – Екатеринбург, 2000. – С. 400–405.
5. http://www.sibelektromotor.ru Сибэлектромотор: общепромышленные, крановые, рольганговые и бытовые электродвигатели.